

IAP12 Rec'd PCT/PTO 21 AUG 2006

1

DISPOSITIF D'AFFICHAGE DE CARTE TOPOGRAPHIQUE POUR AERONEF

La présente invention est relative à l'affichage de carte topographique à bord d'aéronefs, notamment à bord des aéronefs équipés de systèmes avertisseurs de proximité du sol affichant sur la planche de bord, des alarmes visuelles situant sur une carte, les reliefs et obstacles au sol considérés comme menaçants.

Il est connu, depuis longtemps d'afficher sur la planche de bord d'un aéronef une carte topographique de la région survolée en exploitant la position actuelle fournie par les instruments de navigation de l'aéronef pour extraire d'une base de données topographiques, une carte 2D du relief de la région survolée tracée à partir des lignes de niveaux. Cependant, une telle carte se présente sous un aspect très différent de celle des alarmes visuelles montrant les reliefs et obstacles au sol menaçants et le passage de l'une à l'autre au moment de l'apparition ou de la disparition d'une alarme visuelle peut entraîner de mauvaises interprétations de la part de l'équipage.

Les systèmes avertisseurs de proximité du sol ont pour but de prévenir les accidents aéronautiques dans lesquels un aéronef resté manœuvrable s'écrase au sol, accidents connus dans la littérature technique sous l'acronyme CFIT tiré de l'expression anglo-saxonne "Controlled Flight Into Terrain".

Les premiers systèmes avertisseurs de proximité du sol connus sous le nom de GPWS (acronyme de l'expression anglo-saxonne : "Ground proximity Warning System") ne situaient pas sur une carte, les reliefs ou obstacles au sol menaçants car ils ne prenaient en compte que les conditions de vol de l'aéronef. Comme ils posaient un problème d'ajustement de leur sensibilité, un compromis devant être recherché entre un déclenchement à temps à chaque vrai risque de collision avec le sol et un minimum de fausses alarmes, on a rapidement cherché à les perfectionner en ajoutant aux informations prises en compte, des données de navigation et des cartes du relief extraites de bases de données topographiques embarquées ou accessibles de l'aéronef en vol. C'est ainsi que sont apparus des systèmes avertisseurs de proximité du sol appelés TAWS (acronyme tiré de l'expression l'anglo-saxonne : "Terrain Awareness Warning System") remplissant en plus des fonctions GPWS habituelles, une fonction

additionnelle d'alerte prédictive de risques de collision avec le relief ou avec des obstacles au sol consistant à alerter l'équipage de l'aéronef lorsque la trajectoire prévisible à court terme de l'aéronef peut rencontrer le sol ou un obstacle au sol.

5 Ces systèmes avertisseurs de proximité du sol de type TAWS surveillent la pénétration du relief ou d'un obstacle au sol dans un ou plusieurs volumes de protection liés à l'aéronef et s'étendant au devant et en dessous de l'aéronef de manière à contenir la majorité des trajectoires de dégagement à la portée de l'aéronef, vis à vis d'un éventuel relief ou obstacle
10 au sol placé sur sa trajectoire prévisible à court terme et génèrent, à chaque détection de l'intrusion du relief ou d'un obstacle au sol dans ces volumes de protection, des alertes et alarmes sonores et visuelles. Parmi les alarmes visuelles, l'une d'entre elles consiste en un affichage sur un écran de la planche de bord, d'une carte de la région survolée montrant, de manière plus
15 ou moins fine les contours des parties du relief ou d'obstacles au sol considérés comme menaçants.

Habituellement, les systèmes avertisseurs de proximité du sol de type TAWS utilisent au moins deux enveloppes de protection liées à l'aéronef, une enveloppe de protection d'alarme correspondant aux alertes
20 à très court terme nécessitant une manœuvre immédiate d'évitement de la part de l'équipage et une enveloppe de protection d'alerte plus grande, englobant l'enveloppe de protection d'alarme, correspondant aux alertes à moyen terme destinées à attirer l'attention de l'équipage sur la nécessité d'envisager une manœuvre d'évitement. Pour l'affichage des alertes et
25 alarmes visuelles situant sur une carte les reliefs et obstacles au sol menaçants, les systèmes avertisseurs de type TAWS utilisent la position courante de l'aéronef tirée des informations de navigation délivrées par les équipements du bord pour extraire, d'une base de données topographiques, une carte de la région survolée par l'aéronef, et placer sur cette carte les
30 contours des reliefs et obstacles au sol qui pénètrent dans l'un au moins des volumes de protection de l'aéronef.

La carte des alertes et alertes visuelles est généralement une carte 2D montrant les contours des reliefs et obstacles au sol menaçants de la région survolée, représentés sous des aspects différents en fonction de
35 l'importance de la menace. Généralement, les reliefs ou obstacles au sol

interceptant l'enveloppe de protection d'alarme et donc, pouvant provoquer une collision du sol à court terme, sont représentés avec une couleur rouge, ceux interceptant l'enveloppe de protection d'alerte avec une couleur jaune un peu moins voyante et le reste de la carte avec une couleur verte pour se rapprocher de la signification des feux routiers tricolores : le rouge signifiant une interdiction, le jaune une autorisation avec précautions nécessitant de l'attention, et le vert une absence de danger. L'affichage 2D de ces reliefs ou obstacles au sol menaçants peut faire appel à la projection à l'horizontale d'un empilement de strates de terrain correspondant à des coupes du relief au-devant de l'aéronef selon des profils horizontaux ou se rapprochant des profils inférieurs des enveloppes de protection comme décrit par exemple dans le brevet français FR 2.773.609 correspondant au brevet américain US 6,088,654.

Habituellement, un système avertisseur de proximité du sol de type TAWS n'affiche une carte de risques de collision que lorsqu'un risque de collision avec le sol est possible, c'est-à-dire en dessous d'une certaine altitude de vol, en général 2000 pieds. Au-dessus, il n'affiche rien alors qu'une carte du relief de la région survolée serait utile à l'équipage de l'aéronef dans certaines circonstances, par exemple en cas de nécessité de perdre rapidement de l'altitude par suite d'une dépressurisation.

Ce problème a déjà été vu et résolu en partie, notamment dans le système avertisseur de proximité du sol décrit dans le brevet américain US 6,292,721 qui utilise une enveloppe de protection d'alerte dont le profil inférieur tient compte d'un taux de descente important de l'aéronef et dont l'écran de visualisation affiche,

- en dessous de 2000 pieds, une carte des risques de collision avec le sol montrant des contours de zones de terrain colorées en rouge correspondant aux reliefs ou obstacles au sol déclenchant les alarmes et des contours de zones de terrain colorées en jaune correspondant aux reliefs ou obstacles au sol déclenchant des alertes de risque de collision avec le sol, superposés à une carte du relief de la zone survolée par l'aéronef formée de la projection à l'horizontale d'un empilement de strates de terrain correspondant à des coupes horizontales référencées par

rapport à l'altitude de l'aéronef et se distinguant par leurs motifs : une première strate avec un motif à texture dense correspondant à une différence d'altitude de 500 pieds ou moins par rapport à l'aéronef, une deuxième strate avec un motif à texture moyennement dense correspondant à une différence d'altitude de 500 à 1000 pieds par rapport à l'aéronef et une troisième strate avec un motif à texture peu dense correspondant à une différence d'altitude supérieure à 2000 pieds par rapport à l'aéronef, et

5 - au-dessus de 2000 pieds, une carte du relief de la zone survolée formée de la projection à l'horizontale d'un empilement de strates de terrain se distinguant par leurs couleurs et correspondant à des coupes horizontales étagées entre l'altitude du point le plus bas et celle du point le plus haut de la zone de terrain représentée, les strates intermédiaires pouvant avoir une couleur dépendant de leur altitude relative par rapport à l'aéronef.

10 15

Avec ce type d'affichage, il apparaît, à chaque franchissement du niveau des 2000 pieds par l'aéronef, des discontinuités de représentation dues au changement de l'altitude de référence des strates de terrain qui, de relative car liée à celle de l'aéronef, devient absolue car liée à l'altitude du point du relief affiché le plus haut ou le plus bas. A la transition, la signification des couleurs change passant de la distinction entre les zones sans risque, les zones avec un risque à moyen terme et les zones avec un risque à court terme, au classement par niveaux des strates de terrain représentées, ce qui peut entraîner des confusions de la part des membres de l'équipage au moment délicat où se présente une alarme ou une alerte de risque de collision sol.

20 25 30 La présente invention a pour but de remédier à ce défaut grâce à un affichage de carte topographique 2D par projection à l'horizontale d'un empilement de strates de terrain référencées par rapport à une altitude absolue adaptée à un aéronef avec une affectation aux strates, de couleurs ou motifs compatibles avec celle d'une alarme visuelle d'un système

avertisseur de proximité du sol situant sur une carte les reliefs et obstacles au sol menaçant.

Elle a pour objet un dispositif d'affichage de carte topographique 5 2D pour aéronef, extrayant d'une base de données topographiques une carte formée de la projection à l'horizontale, d'un empilement de strates de terrain de la région survolée, correspondant à des coupes de terrain à profil majoritairement horizontal, référencées par rapport à une altitude absolue, supérieure à celle du relief environnant le plus élevé, altitude absolue dite 10 altitude de sécurité.

Avantageusement, lorsque la carte topographique est extraite d'une base de données topographiques stockant les altitudes d'un maillage de points d'une zone de la surface terrestre renfermant la région survolée, 15 l'altitude de sécurité est déduite d'altitudes locales minimales de sécurité affectées aux points du maillage de la base de données topographiques.

Avantageusement, l'altitude de sécurité est déduite d'altitudes locales minimales de sécurité affectées aux points du maillage de la base de 20 données topographiques appartenant, dans la région survolée, à une zone dite de descente d'urgence, liée à la position actuelle de l'aéronef et contenant des trajectoires probables prédites pour un aéronef suivant une pente maximale de descente imposée.

25 Avantageusement, la valeur de l'altitude de sécurité est extraite de la distribution, en fonction de leurs valeurs, des altitudes locales minimales de sécurité affectées aux points du maillage de la base de données topographiques appartenant, dans la région survolée, à une zone de descente d'urgence, liée à la position actuelle de l'aéronef et contenant des 30 trajectoires probables prédites pour un aéronef suivant une pente maximale de descente imposée et correspond à la valeur maximale des altitudes locales minimales de sécurité figurant dans cette distribution après écrêtage d'un certain pourcentage des plus grandes valeurs d'altitudes locales minimales qu'elle contient.

Avantageusement, les strates de terrain représentées correspondent à des coupes de terrain selon des profils horizontaux.

Avantageusement, lorsque l'aéronef est à une altitude supérieure 5 à l'altitude de sécurité par rapport à laquelle les strates de terrain représentées sont référencées, les strates de terrain représentées correspondent à des coupes de terrain selon des profils coudés majoritairement horizontaux se ramenant, par translation verticale, à une ligne brisée débutant par une première section de droite à pente négative 10 allant de la position courante de l'aéronef jusqu'au niveau de l'altitude de sécurité et se poursuivant par une deuxième section de droite horizontale.

Avantageusement, lorsque les strates de terrain correspondent à des coupes de terrain selon des profils coudés en ligne brisée avec une 15 première section droite à angle de pente négatif prolongée par une deuxième section droite horizontale, l'angle de pente négatif de la première section droite est pris égal à l'angle de pente le plus négatif parmi, l'angle de pente actuel suivie par l'aéronef, l'angle de pente maximum de descente autorisé pour l'aéronef et l'arc tangente du rapport entre la vitesse sol de l'aéronef et 20 une vitesse maximale de descente autorisée pour l'aéronef.

Avantageusement, lorsque l'aéronef est en dessous de l'altitude de sécurité par rapport à laquelle les strates de terrain représentées sont référencées, les strates de terrain représentées correspondent à des coupes 25 horizontales.

Avantageusement, les couleurs et/ou textures associées aux niveaux de strates de terrain dans une carte affichée par le dispositif d'affichage cartographique correspondent à la même échelle de risque que 30 celle associée aux couleurs et/ou textures d'une carte d'alarme visuelle provenant d'un système avertisseur de proximité du sol.

Avantageusement, les couleurs associées aux strates de terrain représentées, situées en dessous de l'altitude de l'aéronef appartiennent à la 35 gamme des verts.

Avantageusement, la couleur associée aux strates de terrain représentées, situées à des niveaux proches de l'altitude de l'aéronef appartiennent à la gamme des jaunes.

5

Avantageusement, la couleur associée à des strates de terrain représentées, situées au-dessus de l'altitude de l'aéronef est le rouge.

- Avantageusement, lorsque l'aéronef est équipé d'un système avertisseur de proximité du sol engendrant des cartes d'alarme visuelle situant des reliefs ou obstacles au sol menaçants, les couleurs et/ou textures associées aux niveaux de strates de terrain représentées dans une carte du relief affichée par le dispositif d'affichage de carte topographique respecte la même échelle de risques que celles des cartes d'alarme visuelle et le dispositif d'affichage de carte topographique comporte un circuit de superposition superposant les cartes d'alarme visuelle à la carte du relief qui apparaît en arrière plan autour des reliefs et obstacles au sol menaçants.

- Avantageusement, lorsque l'aéronef est équipé d'un système avertisseur de proximité du sol engendrant des cartes d'alarme et d'alerte visuelles situant des reliefs et des obstacles au sol menaçants et les distinguant par des couleurs et/ou textures différentes en fonction du caractère à court ou moyen terme de la menace qu'ils font encourir, la couleur et/ou texture associées, dans une carte d'alarme et d'alerte, à un relief ou obstacle au sol à l'origine d'une menace à court terme sont reprises pour un niveau de strate de terrain représenté situé à une altitude supérieure à celle de l'aéronef et la couleur et/ou la texture associées à un relief ou un obstacle au sol à l'origine d'une menace à moyen terme sont reprises pour un niveau de strate de terrain représenté situé à l'altitude de l'aéronef.

30

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description ci-après d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple. Cette description sera faite en regard du dessin dans lequel :

- une figure 1 est un schéma d'un dispositif d'affichage de carte topographique selon l'invention,
 - une figure 2 est une coupe verticale de terrain illustrant le profil de référence utilisé pour le découpage des strates de terrain représentées sur la carte topographique affichée,
 - une figure 3 montre, sur la carte affichée, une zone de descente d'urgence, superposée à un pavage correspondant au maillage d'une base de données topographiques dont est extraite la carte affichée,
 - une figure 4 illustre une loi utilisée pour la définition de l'ouverture du secteur angulaire de la zone de descente d'urgence montrée à la figure 3,
 - une figure 5 montre les éléments du pavage correspondant au maillage de la base de données topographiques dont est extraite la carte affichée, qui sont recouverts, même partiellement, par la zone de descente d'urgence montrée à la figure 3,
 - une figure 6 représente un exemple de distribution formée par des altitudes minimales de sécurité associées aux éléments du pavage de la figure 5 recouverts, même partiellement, par la zone de descente d'urgence illustrée aux figures 3 et 5,
 - une figure 7 est une coupe verticale du terrain montrant les formes des strates de terrain représentées sur la carte affichée dans le cas où l'aéronef est à une altitude supérieure à l'altitude de sécurité, et
 - une figure 8 est une coupe verticale du terrain montrant les formes des strates de terrain représentées sur la carte affichée dans les cas où l'aéronef est à une altitude inférieure à l'altitude de référence.
- Le dispositif d'affichage de carte topographique 1 pour aéronef, qui est montré à la figure 1, est associé aux équipements de navigation 2 de l'aéronef, à une base de données topographiques 3 embarquée à bord de l'aéronef ou accessible de celui-ci par radiocommunication, et à un avertisseur de proximité du sol 4 de type TAWS.

Les équipements de navigation 2 fournissent position et altitude actuelles au dispositif d'affichage de carte topographique 1 et au système avertisseur de proximité du sol 4. La base de données topographiques 3 recouvre, d'un maillage de points de mesure, le domaine d'évolution de l'aéronef qui est une partie plus ou moins étendue de la surface terrestre et fournit au dispositif d'affichage de carte topographique 1 et à l'avertisseur de proximité du sol TAWS 4, les éléments topographiques permettant à l'un, le dispositif d'affichage de carte topographique 1, d'élaborer une carte du relief de la région survolée et à l'autre, le système avertisseur de proximité du sol TAWS 4, d'élaborer une carte de la région survolée situant les reliefs et obstacles au sol à l'origine d'un risque de collision. Le système avertisseur de proximité du sol TAWS 4 délivre, au dispositif d'affichage de carte topographique 1, des cartes d'alarme et d'alerte visuelles situant sur une carte de la région survolée, les reliefs ou obstacles au sol menaçants, en vue de les faire afficher en superposition sur la carte du relief élaborée par le dispositif d'affichage de carte topographique 1.

Le dispositif d'affichage de carte topographique 1 peut être décomposé en cinq parties remplissant des fonctions distinctes : une partie 11 de sélection de la région affichée, une partie 12 de calcul de l'altitude de sécurité, une partie 13 de choix des strates de terrain de l'empilement dont la projection à l'horizontal va servir pour afficher le relief de la région sélectionnée et d'allocation des couleurs et des motifs aux strates de terrain choisies, une partie 14 de superposition d'une éventuelle carte d'alerte et d'alarme visuelles provenant d'un système avertisseur de proximité du sol 4 et enfin un écran d'affichage 16.

La première partie 11 du dispositif d'affichage assurant la sélection de la région affichée, utilise la position actuelle de l'aéronef fournie par les équipements de navigation 2 et une consigne d'échelle de représentation provenant du pilote pour localiser la région survolée et déterminer la taille et l'orientation de la carte à afficher. En possession de ces paramètres, elle extrait de la base de données topographiques 3 les éléments appartenant à la surface de la carte à afficher qui sont, en fait :

- des altitudes mesurées au droit des nœuds du maillage adressés par leurs latitudes et leurs longitudes et majorées par une marge de sécurité MTCD (acronyme tiré de l'expression anglo-

- saxonne :"Minimum Terrain Clearance Distance") tenant compte de diverses incertitudes dont celle associée aux mesures d'altitude elles-mêmes, et
- des altitudes locales minimales imposées au droit de ces nœuds
- 5 lorsqu'elles existent.

La deuxième partie 12 assure le calcul d'une altitude de sécurité à partir des altitudes locales minimales imposées ou déduites des performances de l'aéronef aux emplacements des nœuds du maillage de la base de données topographiques 3 appartenant à une zone limitée de la carte affichée correspondant à la surface de survol la plus probable au cas où l'aéronef entamerait une descente d'urgence. La façon de délimiter la zone de descente d'urgence ainsi que le calcul d'une altitude de sécurité une fois la zone de descente d'urgence délimitée seront explicités par la suite.

La troisième partie 13 répartit, en se basant sur les valeurs 15 d'altitude, les éléments de la base de données topographiques 3 appartenant à la surface de la carte à afficher, en différentes strates qui sont référencées par rapport à l'altitude de sécurité calculée par la deuxième partie 11 et dont les profils dépendent de l'altitude courante de l'aéronef fournie par ses équipements de navigation 2. Dans le même temps, elle associe aux 20 éléments répartis des couleurs et/ou textures représentatives de leur strate d'appartenance.

La quatrième partie 14 superpose aux éléments d'image de carte fournis par la troisième partie 13, ceux d'une éventuelle carte d'alerte et alarme visuelles fournie par le système d'alerte de proximité du sol TAWS 4 afin de faire apparaître en priorité sur l'écran 15, les reliefs et obstacles au 25 sol menaçants, les éléments d'image de carte fournis par la troisième partie 13 servant de fond à l'image affichée sur l'écran 15 et n'apparaissant qu'en dehors de ces reliefs et obstacles au sol menaçants.

L'écran d'affichage 15 rassemble en une image complète formant 30 une carte du relief de la région survolée mentionnant les reliefs et obstacles au sol menaçants, les éléments d'image lui parvenant de la quatrième partie 14 et affiche cette image complète à l'intention de l'équipage de l'aéronef.

La figure 2 montre une coupe verticale 21 du relief, pratiquée au 35 devant de la position courante 20 l'aéronef selon sa route. On y distingue également, l'enveloppe 22 de ce profil résultant de la prise en compte de la

marge de sécurité MTCD_{EDGE} et la forme du modèle de profil de coupe adopté pour les strates de terrain utilisées en projection horizontale pour construire la carte 2D affichée par le dispositif d'affichage de carte topologique 1, lorsque l'aéronef est à une altitude supérieure à l'altitude de sécurité MSA (acronyme tiré de l'expression anglo-saxon : "Minimum Safe Altitude"). Ce modèle de profil est défini en temps par rapport à la position courante de l'aéronef. Il a une forme en ligne brisée avec une première section de droite 23 à angle de pente négatif FPA_{EDGE}, allant de la position courante 20 de l'aéronef jusqu'au niveau de l'altitude de sécurité MSA où elle est prolongée par une deuxième section de droite horizontale 24.

L'angle de pente négatif FPA_{EDGE} de la première section de droite 23 du modèle de profil de coupe a la valeur la plus contraignante pour une perte d'altitude rapide parmi :

- une valeur de consigne fixée par le constructeur de l'aéronef ou par la compagnie aérienne qui l'exploite en fonction des performances théoriques de l'aéronef, comme par exemple sa finesse de vol,
- une valeur instantanée calculée à partir d'une base de données de performances de descente de l'aéronef tenant compte de l'ensemble ou d'une partie des paramètres suivants : vitesse air, configuration sortie ou rentrée des trains d'atterrissement et des volets, altitude, pressions statique et dynamique, température statique, poids de l'aéronef, vent local,
- la valeur instantanée de l'angle de pente FPA de la trajectoire de l'aéronef déduite de ses vitesses sol et vitesse verticale.

La partie descendante du modèle de profil de coupe permet de masquer les reliefs ne pouvant pas devenir dangereux en cas de descente d'urgence car déjà dépassés par l'aéronef.

- L'altitude de sécurité MSA donnant le niveau de la deuxième section horizontale de droite 24 du modèle de profil est calculée, comme on le verra ultérieurement, à partir d'altitudes minimales de sécurité déterminées aux emplacements des points de mesure de la base de données topographiques appartenant à une zone de la carte affichée correspondant aux trajectoires de descente d'urgence les plus probables depuis la position actuelle de l'aéronef et compte tenu de sa route. Elle est toujours supérieure

au sommet du profil vertical 21 du terrain survolé à moyen terme mais peut être ponctuellement inférieure à la marge de sécurité verticale MTCD_{EDGE} 22 prise vis à vis des valeurs d'altitude extraites de la base de données topologiques.

- 5 Les altitudes minimales de sécurité déterminées aux emplacements des points de mesure de la base de données sont des altitudes minimales à respecter en dehors d'un décollage ou d'un atterrissage, qui répondent à la définition du paragraphe Sec. 91.119 des règlements généraux ("General Regulations" en anglo-saxon) appliqués à
- 10 l'aviation civile, par la FAA ("Federal Aviation Agency" en anglo-saxon), aux Etats-Unis. Elles correspondent soit à des valeurs imposées 1000 pieds au-dessus de l'obstacle au sol le plus haut dans un rayon de 2000 pieds lorsque la zone survolée est densément habitée, 500 pieds au-dessus des autres zones et à une distance minimum de 500 pieds d'une personne, d'un
- 15 véhicule, d'un navire ou d'une construction, soit, de manière plus générale, à une valeur suffisante pour pouvoir faire un atterrissage de fortune en dehors d'une zone habitée en cas de problème de moteur. Dans ce dernier cas, elles sont obtenues à partir de calculs standards prenant en considération les qualités du plané de l'aéronef et les valeurs limites réglementaires
- 20 lorsqu'elles sont applicables. Elles sont stockées dans la base de données topologiques 3 au même titre que l'altitude.

- La figure 3 représente la zone 31 utilisée pour le calcul de l'altitude de sécurité servant de référence absolue aux strates de terrain affichées par le dispositif d'affichage de carte topographique 1. Cette zone 31
- 25 est délimitée de manière à correspondre à la zone de plus grande probabilité de présence de l'aéronef au cours d'une descente d'urgence depuis sa position actuelle 32. Elle a la forme d'un secteur angulaire de rayon R_{EDGE}, partant de la position actuelle 32 de l'aéronef, et ouvrant autour de la direction 33 de la route (Track en anglo-saxon) suivie par celui-ci.

- 30 Le rayon R_{EDGE} du secteur angulaire de cette zone 31 de descente d'urgence est choisi en fonction du temps d'anticipation T_{EDGE} proposé à l'équipage, par exemple, dix minutes, et de la vitesse sol GS de l'aéronef par mise en œuvre de la relation :

$$R_{EDGE} = GS \times T_{EDGE}$$

Les angles d'ouverture AP_L et AP_R du secteur angulaire de cette zone 31 de descente d'urgence sont fonction de la vitesse de rotation instantanée Θ_{EDGE} de l'aéronef, selon une loi linéaire montrée à la figure 4.

Le cas de la figure 3 correspond à un aéronef animé d'une vitesse 5 de rotation vers la droite.

Le pavage en arrière plan 34 résultant du maillage de la région survolée, par la base de données topographiques 3 présente des pavés élémentaires rectangulaires de dimensions unitaires en abscisse et ordonnée s'exprimant en arc-secondes de latitude et de longitude, par exemple 360". A 10 chaque pavé élémentaire correspond un point de mesure auquel sont associés, dans la base de données topographique 3, une altitude mesurée et une altitude minimum de sécurité.

La figure 5 reprend les mêmes éléments que la figure 3 en faisant ressortir les éléments du pavage résultant du maillage de la base de 15 données cartographiques, qui sont recouverts en totalité ou en partie par la zone 31 de descente d'urgence. Ces éléments correspondent aux points de mesure de la base de données topographiques 3 dont les altitudes minimales de sécurité sont retenues pour la détermination de l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} servant de référence aux strates de terrain affichées. 20 L'altitude de sécurité MSA_{EDGE} est la valeur d'altitude minimale de sécurité qui n'est dépassée que par un pourcentage donné $N_{EDGE}\%$ des altitudes minimales de sécurité retenues. Comme montré à la figure 6, cette valeur peut être déterminée par écrêtage des valeurs supérieures d'un tableau de distribution 60 dénombrant la fréquence d'une même valeur d'altitude 25 minimale de sécurité en fonction de son amplitude. Sur la figure 6, la surface 61 de la distribution correspondant au pourcentage $N_{EDGE}\%$ apparaît à droite dans un grisé foncé. La valeur retenue pour l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} est la valeur correspondant à la limite supérieure de la zone 62 du tableau de distribution restant après écrêtage et représentée dans un grisé clair. 30 La figure 7 donne un exemple d'empilement de strates de terrain utilisé en projection horizontale pour affichage sur l'écran 15 du dispositif d'affichage de carte topographique 1 lorsque l'aéronef 20 est à une altitude supérieure à l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} . Les strates de terrain 71, 72, 73 sont définies relativement au profil de référence qui a été décrit relativement 35 à la figure 2 et qui inclut une partie descendante 23 et un long palier 24. Ces

strates de terrain sont avantageusement représentées par un dégradé de couleurs vertes correspondant à une absence de risque dans l'échelle des risques adoptées sur les cartes d'alerte et d'alarme visuelles des systèmes avertisseur de proximité du sol de type TAWS.

- 5 La figure 8 donne un exemple d'empilement de strates de terrain utilisé en projection horizontale pour affichage sur l'écran 15 du dispositif d'affichage de carte topographique 1 lorsque l'aéronef 20 est à une altitude inférieure à l'altitude de sécurité MSA_{EDGE}. Les strates de terrain 81, 82, 83 sont définies relativement au profil de référence horizontal. Dans le cas où un
- 10 système avertisseur de proximité du sol de type TAWS est présent et délivre des cartes d'alerte et alarme visuelles, les strates de terrain peuvent être représentées, comme dans la figure précédente, par un dégradé de couleurs vertes correspondant à une absence de risque dans l'échelle des risques adoptées sur les cartes d'alerte et d'alarme visuelles des systèmes
- 15 avertisseur de proximité du sol de type TAWS puisqu'elles seront masquées en cas de risque de collision avec le sol par les reliefs et obstacles au sol menaçant apparaissant dans une couleur rouge synonyme de danger immédiat ou jaune synonyme de danger à moyen terme. En l'absence ou en cas de non-fonctionnement d'un système avertisseur de proximité du sol, il
- 20 est préférable d'adopter la couleur rouge pour les strates de terrain de niveaux supérieur à l'altitude actuelle de l'aéronef et la couleur jaune pour les strates de terrain de niveaux proches de l'altitude actuelle de l'aéronef pour attirer sur elles l'attention de l'équipage de l'aéronef.

REVENDICATIONS

1. Dispositif (1) d'affichage de carte topographique 2D pour aéronef, extrayant d'une base de données topographiques, une carte formée de la projection à l'horizontale, d'un empilement de strates de terrain de la région survolée, correspondant à des coupes de terrain à profil majoritairement horizontal, caractérisé en ce que les coupes de terrain à profil majoritairement horizontal (71, 72, 73, 81, 82, 83) sont référencées par rapport à une altitude absolue supérieure à celle du relief environnant le plus élevé, altitude absolue dite altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24).
5
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque la carte topographique est extraite d'une base de données topographiques (3) stockant les altitudes d'un maillage de points d'une zone de la surface terrestre renfermant la région survolée, l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24) est déduite d'altitudes locales minimales de sécurité affectées aux points du maillage de la base de données topographiques (3).
15
3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24) est déduite d'altitudes locales minimales de sécurité affectées aux points du maillage de la base de données topographiques appartenant, dans la région survolée, à une zone (32) dite de descente d'urgence, liée à la position actuelle (20) de l'aéronef et contenant des trajectoires probables prédites pour un aéronef suivant une pente maximale de descente imposée FPA_{EDGE} .
20
4. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que la valeur de l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24) est extraite de la distribution, en fonction de leurs valeurs, des altitudes locales minimales de sécurité affectées aux points du maillage de la base de données topographiques (3) appartenant, dans la région survolée, à la zone (32) de descente d'urgence et correspond à la valeur maximale MSA_{EDGE} value des altitudes locales minimales de sécurité figurant dans cette distribution après écrêtage d'un certain pourcentage $N_{EDGE}\%$ des plus grandes valeurs d'altitudes locales minimales qu'elle contient.
30
35

5. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les strates de terrain représentées (81, 82, 83) correspondent à des coupes de terrain selon des profils horizontaux.

5

6. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque l'aéronef est à une altitude supérieure à l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24) par rapport à laquelle les strates de terrain représentées sont référencées, les strates de terrain représentées (71, 72, 73) correspondent à des coupes de terrain selon des profils coudés majoritairement horizontaux se ramenant, par translation verticale, à une ligne brisée débutant par une première section de droite (23) à pente négative allant de la position courante (20) de l'aéronef jusqu'au niveau de l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24) et se poursuivant par une deuxième section de droite horizontale (24).

10
15

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'angle de pente négatif de la première section droite est pris égal à l'angle FPA_{EDGE} de pente le plus négatif parmi, l'angle de la pente actuelle suivie par l'aéronef, l'angle de pente maximum de descente autorisé pour l'aéronef et l'arc tangente du rapport entre la vitesse sol de l'aéronef et une vitesse maximale de descente autorisée pour l'aéronef.

20
25

8. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque l'aéronef est en dessous de l'altitude de sécurité MSA_{EDGE} (24) par rapport à laquelle les strates de terrain représentées sont référencées, les strates de terrain représentées (81, 82, 83) correspondent à des coupes horizontales.

30

9. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les

couleurs et/ou textures associées aux niveaux de strates de terrain (71, 72, 73, 81, 82, 83) dans une carte affichée correspondent à la même échelle de risque que celle associée aux couleurs et/ou textures d'une carte d'alarme visuelle provenant d'un système avertisseur de proximité du sol (4).

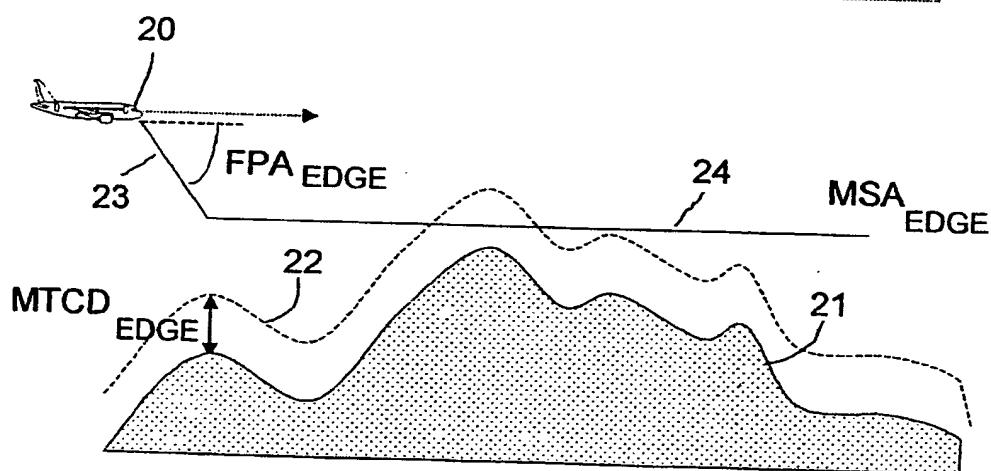
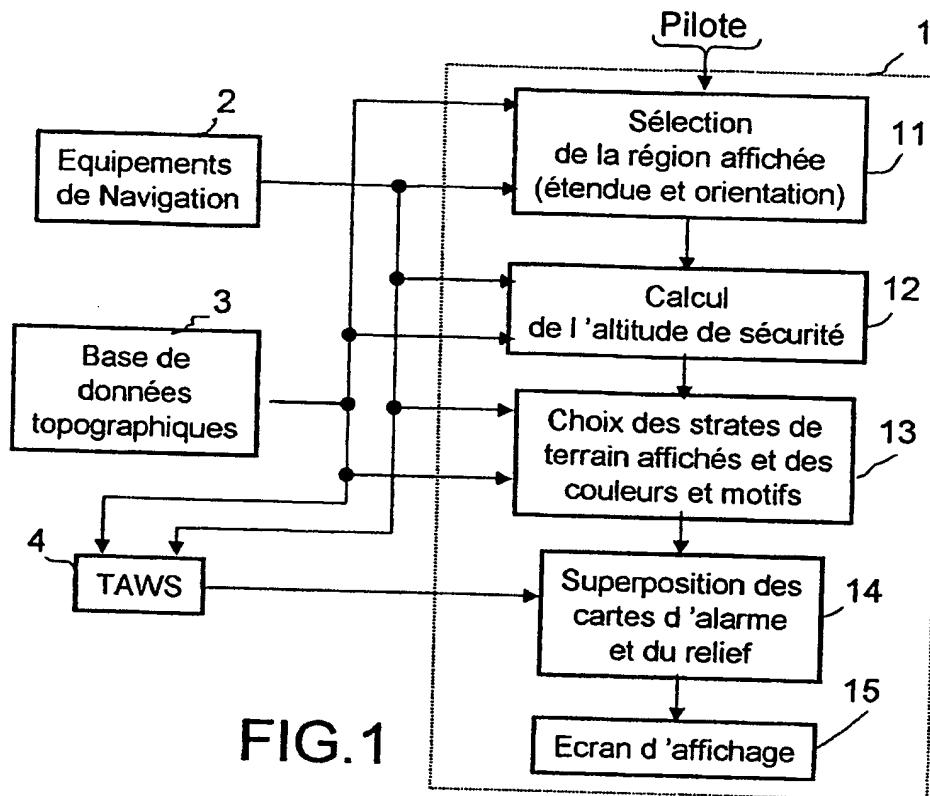
10. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les couleurs associées aux strates de terrain représentées, situées en dessous de l'altitude de l'aéronef (71, 72, 73) appartiennent à la gamme des verts.

5 11. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que les couleurs associées aux strates de terrain représentées, situées à des niveaux proche de l'altitude actuelle de l'aéronef appartiennent à la gamme des jaunes.

10 12. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couleur associée à des strates de terrain représentées, situées au-dessus de l'altitude de l'aéronef est le rouge.

15 13. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque l'aéronef est équipé d'un système avertisseur de proximité du sol (4) engendant des cartes d'alarme visuelle situant des reliefs ou obstacles au sol menaçants, les couleurs et/ou textures associées aux niveaux de strates de terrain représentées dans une carte du relief affichée par ledit dispositif respectent la même échelle de risques que celles des cartes d'alarme visuelle et en ce qu'il comporte un circuit de superposition superposant les cartes d'alarmes visuelles à la carte du relief qui apparaît en arrière plan autour des reliefs et obstacles au sol menaçants.

25 14. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que, lorsque l'aéronef est équipé d'un système avertisseur de proximité du sol (4) engendant des cartes d'alarme et d'alerte visuelles situant des reliefs et des obstacles au sol menaçants et les distinguant par des couleurs et/ou textures différentes en fonction du caractère à court ou moyen terme de la menace qu'ils font encourir, la couleur et/ou texture associées, dans une carte d'alarme et d'alerte, à un relief ou obstacle au sol à l'origine d'une menace à court terme sont reprises pour un niveau de strate de terrain représenté situé à une altitude supérieure à celle de l'aéronef et la couleur et/ou la texture associées à un relief ou un obstacle au sol à l'origine d'une menace à moyen terme sont reprises pour un niveau de strate de terrain représenté situé à 30 l'altitude de l'aéronef.

**FIG.2**

2/4

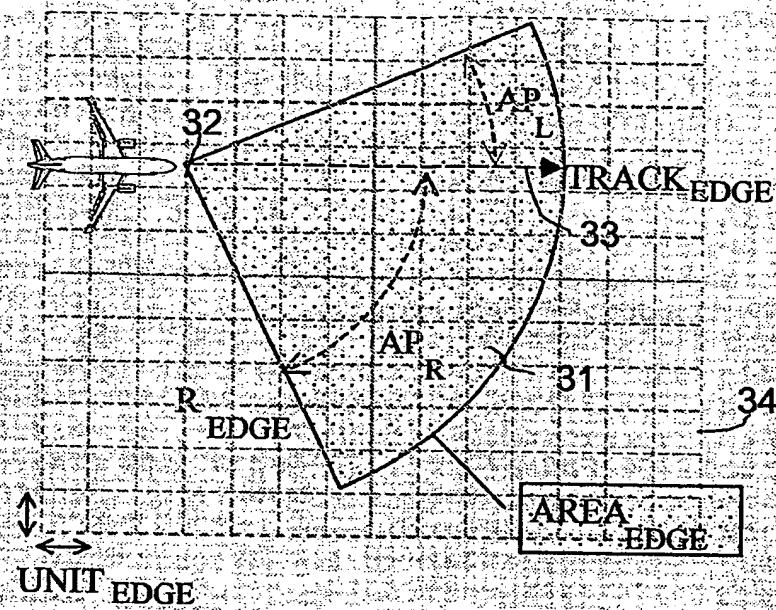


FIG.3

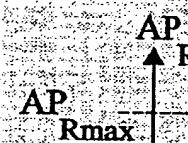


FIG.4

3/4

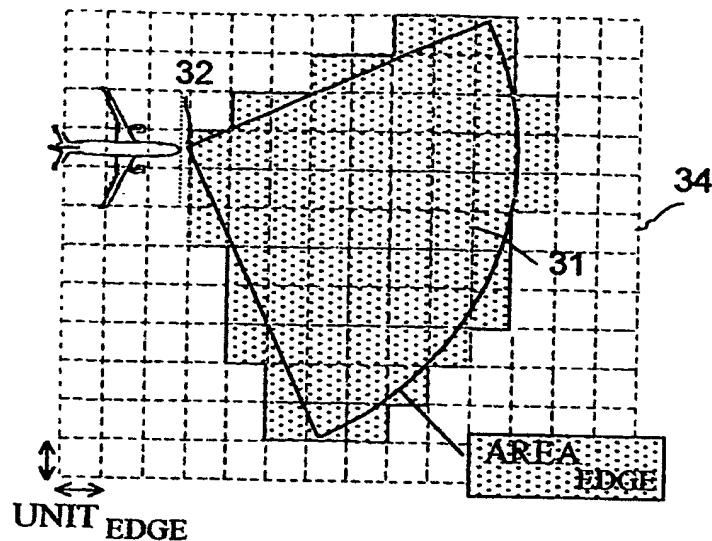


FIG.5

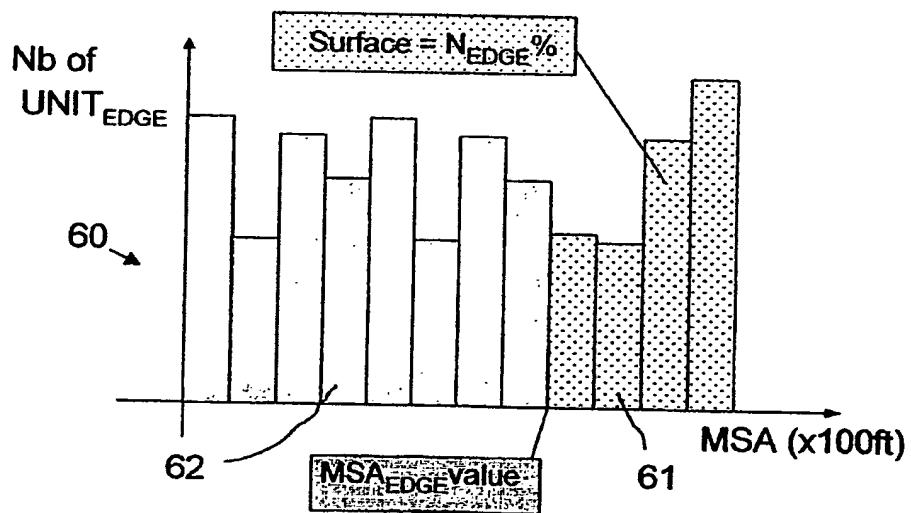
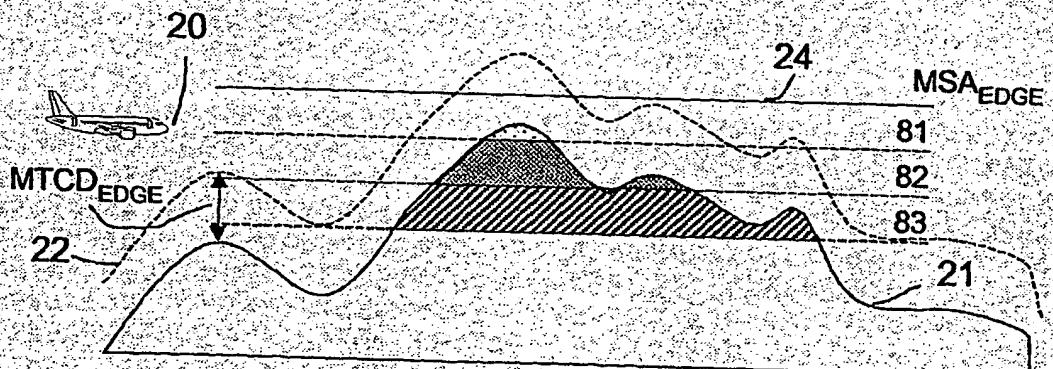
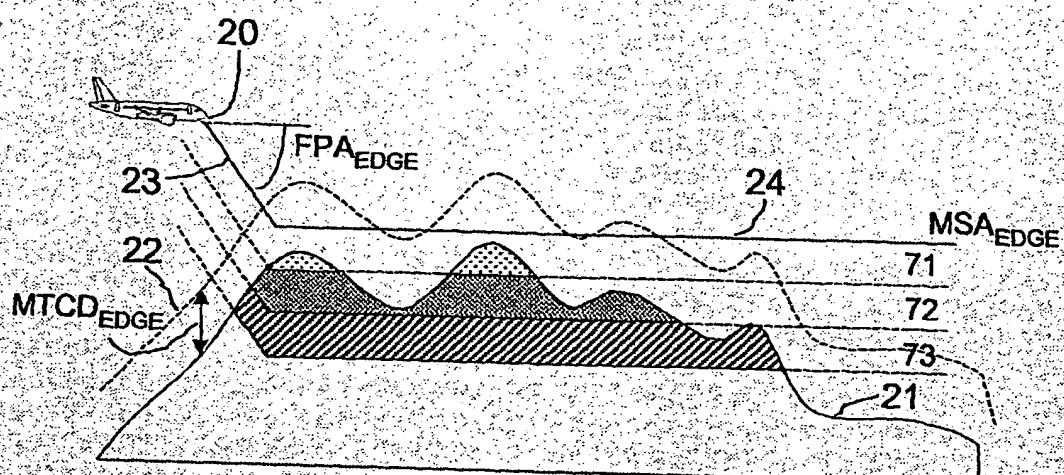


FIG.6

4/4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050536

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01C23/00 G01C5/00 G09B29/10 B64D45/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01C G09B B64D G05D G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	FR 2 813 963 A (THOMSON CSF) 15 March 2002 (2002-03-15) page 17, line 28 – page 18, line 30 page 19, line 29 – line 36 page 22, line 24 – line 38 page 23, line 12 – line 21 figures 1,4-7	1-14
X	WO 99/57511 A (VDO LUFTFAHRTGERAETE WERK GMBH; KAUFHOLD, RAINER) 11 November 1999 (1999-11-11) page 2, paragraph 3 – page 3, paragraph 3 page 3, paragraph 5 – page 4, paragraph 1 page 11, paragraph 3 figures 1,9	1-14 -/-

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 May 2005

Date of mailing of the international search report

27/05/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Yosri, S

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/EP2005/050536

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 292 721 B1 (CONNER KEVIN J ET AL) 18 September 2001 (2001-09-18) cited in the application column 2, line 20 - line 41 column 3, line 9 - line 17 column 23, line 25 - line 40 column 24, line 51 - column 25, line 38 column 33, line 56 - column 34, line 67 figures 25,26,38,49 -----	1-14
A	US 4 646 244 A (BATEMAN CHARLES D ET AL) 24 February 1987 (1987-02-24) column 1, line 64 - column 2, line 17 column 5, line 33 - line 52 column 11, line 10 - line 18 claims 1,13-16 -----	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050536

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
FR 2813963	A	15-03-2002	FR	2813963 A1		15-03-2002
			CA	2390230 A1		14-03-2002
			EP	1316004 A2		04-06-2003
			WO	0221229 A2		14-03-2002
			US	2003107499 A1		12-06-2003
WO 9957511	A	11-11-1999	DE	19819844 A1		18-11-1999
			WO	9957511 A2		11-11-1999
			EP	1084380 A2		21-03-2001
US 6292721	B1	18-09-2001	US	5839080 A		17-11-1998
			AU	2557099 A		12-07-1999
			EP	1042646 A1		11-10-2000
			WO	9932850 A1		01-07-1999
			DE	69633451 D1		28-10-2004
			EP	0842396 A1		20-05-1998
			US	6088634 A		11-07-2000
			US	6219592 B1		17-04-2001
			WO	9705450 A1		13-02-1997
			US	6122570 A		19-09-2000
			US	6347263 B1		12-02-2002
			US	2001056316 A1		27-12-2001
			US	6138060 A		24-10-2000
US 4646244	A	24-02-1987	AU	563701 B2		16-07-1987
			AU	3939685 A		27-08-1985
			CA	1238398 A1		21-06-1988
			DE	3584553 D1		05-12-1991
			EP	0172221 A1		26-02-1986
			FI	853790 A		01-10-1985
			IT	1182170 B		30-09-1987
			JP	61501283 T		26-06-1986
			NZ	210815 A		28-10-1988
			WO	8503566 A1		15-08-1985